

基于声波的管道泄漏点定位检测仪的开发

沈功田¹, 刘时凤², 王 玮³

(1. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013; 2. 北京声华兴业科技有限公司, 北京 100029;
3. 南昌航空大学 教育部无损检测重点实验室, 南昌 330063)

摘 要:采用基于声学的方法和相关定位原理开发研制了一种管道泄漏点定位的检测仪。该仪器采用专用低频传感器、泄漏声信号波形的高速采集、基于网络的无线数据通讯和基于 USB 的数据快速传输、GPS 授时等多项先进的电子技术, 可对不同材质和不同介质的管道泄漏实现现场实时定位检测和远程无线定位检测。经试验和现场应用证明, 该系统在 0.4 MPa 的压力下可以实现对 50 m 管道 1 mm 泄漏孔和 100 mm 管道 3 mm 孔的泄漏点定位检测。

关键词: 声波; 管道; 泄漏; 定位; 检测仪

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)01-0053-04

Development of Pipeline Leakage Location Instrument Based on Acoustic Waves

SHEN Gong-Tian¹, LIU Shi-Feng², WANG Wei³

(1. China Special Equipment Inspection Institute, Beijing 100013, China; 2. Soundwel Corporation, Beijing 100029, China;
3. Key Laboratory on NDT of the Ministry of Education, University of Nanchang Aviation, Nanchang 330063, China)

Abstract: A pipeline leakage location instrument based on acoustic method and correlation location of continuous signals was developed. This instrument uses a lot of advanced electronic technique such as low frequency acoustic emission sensor, high speed acquisition of waveform of leakage signals, wireless data communication based on internet, data high speed communication based on USB, time control based on GPS positioning and so on. The real-time leakage location test and remote wireless leakage location test are realized for different kind of pipeline with different medium leak. The testing result proves that this instrument can detect the leakage of 1mm hole for 50 m pipeline and 3 mm hole for 100 mm pipeline under 0.4 MPa compressed air.

Keywords: Acoustic wave; Pipeline; Leakage; Location; Testing instrument

我国现有 7 万多公里的城市埋地燃气输送管道, 其中有 40% 已运行 20 年左右, 不少管道已进入事故高发阶段。由于管线的老化、不可避免的腐蚀以及自然或人为损坏等因素, 管道泄漏事故频发, 曾多次引发恶性事故, 造成巨大生命和财产损失。然而, 城市燃气管道常埋在地下, 因此使泄漏检测变得困难。目前我国的城市埋地燃气管道检测监测技术较为落后, 没有能够快速确定埋地管道泄漏部位的

技术和仪器。有些管道一旦发生泄漏, 往往需要花费大量的人力、物力和时间来寻找泄漏点。

针对我国城市埋地燃气管道泄漏检测的现状和市场需求, 国家于 2006 年 10 月向中国特种设备检测研究院和北京声华兴业科技有限公司下达“十一五”科技支撑课题, 开展埋地燃气管道泄漏声学方法检测关键技术研究, 研制便携式埋地燃气管道泄漏点定位检测仪样机, 填补国内空白, 以提高我国埋地燃气管道检测技术水平。

收稿日期: 2009-03-19

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(60534050); 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAK02B01-07-02)

作者简介: 沈功田(1963—), 男, 研究员, 博士, 主要从事特种设备无损检测新技术研究。

1 基于声波的管道泄漏检测原理

流体穿过管壁漏孔外泄时, 会激发广谱的音频信号, 而一些小于 50 kHz 的较低频声波信号可以

沿管道壁传输较远的距离。通过安装在管道外壁的声波传感器可以较远距离探测到这些泄漏信号,并采集到信号的连续波形。如采用两个传感器进行探测,通过两个波形的相关分析即可以得到泄漏源的位置^[1]。

埋地管道泄漏探测技术包括监测和检测两种。泄漏监测技术是对管道从不泄漏到发生泄漏过程的监测,一般采用固定装置进行实时监测,一旦发生泄漏就发出警报。管道的泄漏检测技术一般采用移动式的仪器设备进行,一种是进行定期检验,发现已经产生和有可能产生泄漏的部分,另一种是管道已发生泄漏,采用仪器发现管道的泄漏点^[2]。

管道泄漏声发射信号是一种连续型信号,频带范围主要分布在 1~80 kHz。管道泄漏时产生的声发射信号具有以下特点:① 泄漏声发射信号是由管中流体介质泄漏时与管道及周围介质相互作用激发的,是一种连续型信号,因此监测仪器不需要采用较高的采样频率。② 泄漏声发射信号沿管道向上、下游传播,接收并分析该信号,可以获得泄漏源大小及位置等信息。③ 管道泄漏声发射信号受诸多因素的影响,如泄漏孔径大小和形状以及介质压力、管道周围介质、环境噪声等,因此,声发射信号本质上属于一种非平稳随机信号。④ 根据导波理论,泄漏声发射信号具有多模态特性,并且在管道内传播时存在频散现象^[3]。

基于声波的管道泄漏点定位原理如图 1 所示。A、B 为两个声发射传感器,泄漏点位于两个传感器之间。将 A、B 两个传感器接收到的信号作互相关,得出信号传到 A、B 两个位置时的时间差 Δt ,从而得到如下的公式:

$$X = \frac{D - v \cdot \Delta t}{2} \quad (1)$$

式中 X 为泄漏点距参考传感器 A 的距离; D 为两个传感器之间的距离; v 为声波传播的速度; Δt 为从相关函数得出的泄漏信号到达传感器的时间差^[4]。

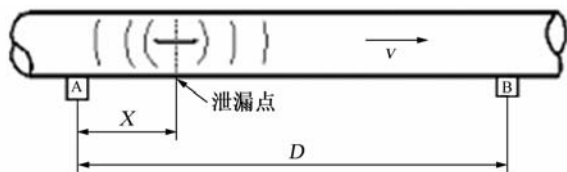


图 1 基于声波的管道泄漏点定位原理图

2 管道泄漏定位检测仪硬件的开发

开发的埋地管道泄漏点定位检测仪的结构如图

2 所示,其实物见图 3。仪器系统由一台笔记本电脑和多个分别安装在管道上的传感器与泄漏信号采集模块组成,通过 GPS 天线校准时间,确保漏点的高精度定位;主机通过 CDMA 无线模块可实时在线控制各信号采集模块,各信号采集模块也可通过 CDMA 无线模块向笔记本电脑传输采集到的数据;另外,采集模块上设有 USB 通讯接口,可采用 USB 线与笔记本电脑进行快速数据传输;通过在笔记本电脑上的数据分析软件,可对泄漏信号进行相关定位分析,给出泄漏点的位置和泄漏量的大小。

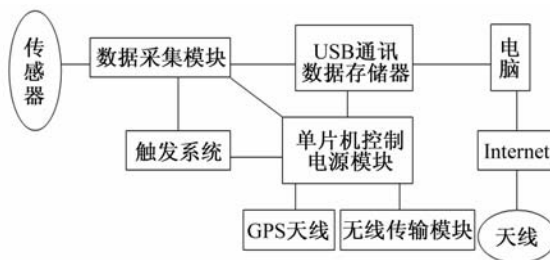


图 2 埋地管道泄漏点定位检测仪的方框图

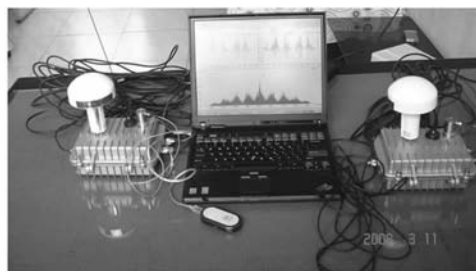


图 3 埋地管道泄漏点定位检测仪

该仪器采用自制高灵敏度专用传感器,接收远距离泄漏产生的微弱声波信号;信号采集单元拥有大容量的 FLASH 存储器,可存储 100 次超长采样波形;可设定白天或夜间任意时段工作,程控设置 100 次定时检测,实现长期无人值守最佳时刻自动检测;可扩展更多的采集器加入系统,组成任意多通道测点;检测效率高,实现一次操作完成泄漏探测与漏点定位。

在实际的泄漏检测过程中,检测到的信号往往是经过多次反射和波形变换的复杂信号。信号由传感器接收并转换成电信号,然后输入给波形数据采集模块。实际检测时可根据检测目的和环境选择不同类型、不同频率和灵敏度的传感器。

数据采集模块包括放大器、模数转换模块。传感器输出信号的电压只有微伏到毫伏的数量级,放大器将信号放大到一定程度后传输给模数转换模块,模数转换模块将连续变化的模拟量转换为离散

的数字量, 然后进行滤波、采样、量化和编码, 最终将数字信号传输给主处理器。

主处理器包括 CPU 和 CPLD。CPU 一般由逻辑运算单元、控制单元和存储单元组成, 进行分析、判断、运算并控制计算机各部分协调工作。CPLD 为复杂可编程逻辑器件, 它借助集成开发软件平台, 用原理图、硬件描述语言等方法, 生成相应的目标文件, 通过下载电缆将代码传送到目标芯片中, 实现设计的数字系统。

GPS 时钟同步控制模块包括 GPS 天线模块和 RTC 实时时钟模块。泄漏检测按照检测长度划分为若干区段, 在区段两端安置传感器, 各个传感器之间相距几百米, 每个探头均连着 GPS 同步时钟。GPS 天线接受 GPS 时钟同步信号, 做相应的处理, 得到时钟同步信号和绝对时间戳并发送给采集单元。采集单元接收处理后的 GPS 同步信号, 达到同步整个分布式采集系统。

无线传输模块是将传感器采集到的信号传输到仪器主机, 或者用来传输主机发出的命令。仪器采用的无线传输模块为 CDMA 模块。USB 离线数据传输功能设置的目的是为了防止仪器无线传输模块失效而开发的有线传输模块。数据存储是记忆设备, 用来存放程序和数据。它根据控制器指定的位置存入和取出信息。由于泄漏检测是长时间检测, 所以电源模块显得尤为重要, 在节约电源的同时, 也配置了一款能充电, 容量大的电池。供电模块由充电电源和锂电池组组成。

3 管道泄漏定位检测仪软件的开发

管道泄漏声波信号定位分析软件是管道泄漏检测定位仪最重要的组成部分之一, 用以处理和分析采集到的泄漏声波信号。考虑到开发环境和操作使用方便, 兼容性好等因素, 确定操作系统采用 Windows 2000、Windows XP 及后续版本, 操作环境在简体中文、英文和繁体中文下运行。

管道泄漏检测的目的就是发现管道上的泄漏点位置和泄漏的强度。由于探测到的管道泄漏信号是连续性信号, 因此泄漏点的定位只有采用相关定位方法才能得到信号的时差, 从而由时差来计算出泄漏点的位置。由于信号的衰减, 探测到的信号极其微弱, 因此, 为了提高信噪比, 专门开发了基于波形的谱分析和小波分析的方法来对波形信号进行降噪处理, 然后再进行相关定位, 以提高检测的灵敏度。

另外, 该软件还具有测量信号均方根电压(RMS)的功能, 通过测量 RMS 可以评估介质的泄漏强度。

图 4 为埋地管道泄漏点定位检测分析软件的界面, 其主要包括 5 个窗口。左边的窗口是设备管理器; 中上和右上方两个窗口是波形窗口, 显示被分析数据的波形和采集信息; 中下方的窗口是定位分析窗口, 显示根据当前数据分析的定位结果; 右下方是泄漏信号傅里叶变换后的频谱分布图, 同时显示该信号计算出来的 RMS 值。

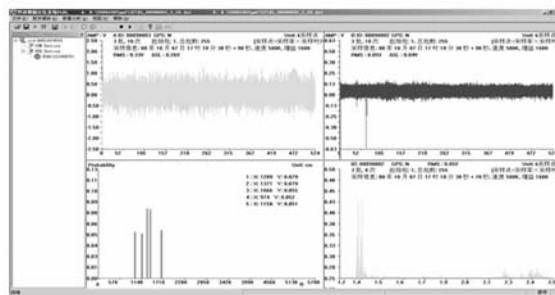


图 4 埋地管道泄漏点定位检测分析软件界面

考虑到现场工程检测和实验室试验数据分析的需要, 再根据系统声波信号采集模块的实际情况, 开发的声波信号离线采集分析软件具有如下功能: ① 文件读取、存储等管理功能。② 两个传感器的离线全波形的显示。③ 两个传感器的离线波形参数的采集和列表显示。④ 两个传感器的离线波形特征参数的统计、关联分析与显示。⑤ 两个传感器的声发射源(泄漏点)的离线相关定位分析与显示。

4 现场试验

试验 I 针对 $\phi 159 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 的管道, 试段全长 65 m, 埋深 50 cm, 试验装置如图 5 所示。用球阀控制的泄漏孔位于传感器 A 右侧 12.8 m 处, 距离传感器 B 为 43.6 m, 以模拟管道的实际泄漏。所采用的传感器为 SR40 型, 泄漏点使用 $\phi 1 \text{ mm}$ 孔径放气阀放气, 介质为 0.4 MPa 的压缩空气。图 6 为试验的相关定位结果, 测量位置为 12.82 m, 误差仅为 2 cm。

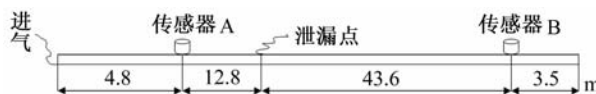


图 5 管道泄漏试验装置

试验 II 针对 $\phi 273 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 的管道, 试段全长为 231 m, 埋深 1.5~5 m 不等。用球阀控制的泄漏孔位于传感器 A 左侧 66 m 处, 距离传感器 B 为

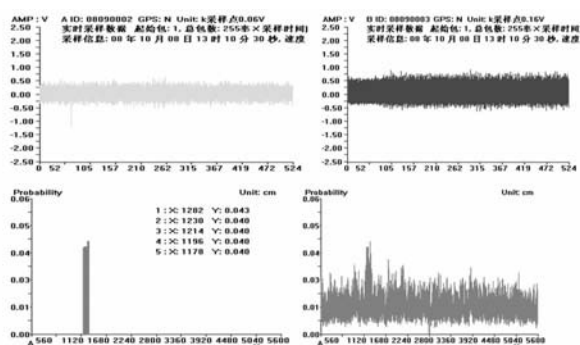


图6 试验 I 的相关定位结果

165 m。同样采用 SR40 型传感器,泄漏点使用 $\phi 3$ mm 孔径的放气阀放气,介质为 0.4 MPa 的压缩空气。图 7 为试验的相关定位结果,测量位置为 65.4 m,误差 0.6 m。

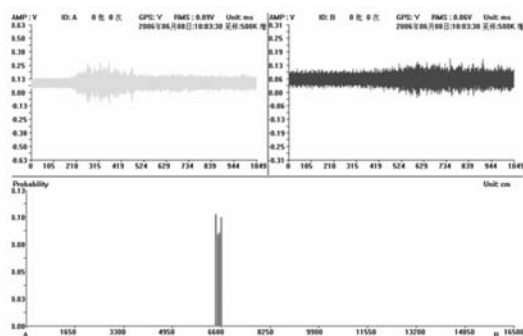


图7 试验 II 的相关定位结果

5 结论

通过对研制的仪器进行现场测试和多种情况下埋地管道气体泄漏的检测试验,得到如下结论:

(1) 相关定位是进行埋地燃气管道泄漏点定位的有效方法。

(2) 基于波形的小波分析重构可以提高埋地燃

气管道泄漏点定位的灵敏度。

(3) 适用于埋地燃气管道泄漏点定位的频率主要位于 10~60 kHz 的范围。

(4) 泄漏产生的声发射信号是通过管道内空气介质与管壁传播的,声速在 880~960 m/s 范围内。

(5) 在内压不变的情况下,泄漏声发射信号强度随着泄漏孔直径的增加而增加。

已开发完成的埋地压力管道泄漏点定位检测仪器样机具有如下技术特点:

(1) 泄漏定位的精确度为 \leq 探测器间距的 2%,最大为 ± 3 m。

(2) 在管道 0.4 MPa 的压力下,50 m 传感器间距可探测到 1 mm 孔的泄漏信号,100 m 传感器间距可探测到 3 mm 孔的泄漏信号。

(3) 硬件采用数字化电路,具有基于网络远程控制与数据传输的功能。

(4) 软件采用 Windows 2000、Windows XP 及后续版本的操作系统;兼容性好,易于升级。

参考文献:

- [1] 陈华敏. 管道泄漏检测技术进展[J]. 安全与环境工程, 2003, 10(3): 58—61.
- [2] 沈功田. 埋地管道泄漏监测检测技术[J]. 无损检测, 2006, 28(5): 261—265.
- [3] 陶雪荣. 在用埋地管道检测技术现状与发展[J]. 中国特种设备安全, 2004, 21(1): 41—45.
- [4] 王朝晖. 声发射技术在管道泄漏检测中的应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2007, 5(31): 87—90.
- [5] 沈功田, 耿荣生, 刘时风. 连续声发射信号的源定位技术[J]. 无损检测, 2002, 24(4): 164—167.

GE X-Cube CT 扩展射线成像检测系统

GE X-Cube 射线成像检测系统目前提供计算机断层分析(CT)扩展特性, 可通过 CT 扫描获得比二维检测更详细的体积数据, 使用户获得更多关键结构的信息。X-Cube 系统图像处理速度比传统 CT 扫描快 80%, X-Cube CT 扩展使其既拥有自身的灵活性, 同时具有 CT 成像的优点, 主要应用领域从产品工程延伸到金属业和铸造行业。

GE X-Cube 射线成像检测系统使用与标准 X-Cube 相同的 X 射线源与控制组件, 并附带可提高图像获取能力的装置。X-Cube CT 扩展具有最小 100 μ m 体元的分辨率, 利用 3D/arv 程序与影像优化软件, 可自动进行图像获取与检测数据的重建与可视化。

